

内部资料 不得外传

2000 年的中国研究资料

第 9 集 第二分册

有色金属工业国内外科技水平和差距

中国金属学会

中国科协 2000 年的中国研究办公室

一九八四年六月

N
G303
5:9-2

第9集 第二分册

有色金属工业
国内外科技水平和差距

中国金属学会

中国科协 2000 年的中国研究办公室

1984.6.

1 100000 100000 100000 100000 100000 100000 100000

41368

《编写说明》

《2000年的中国研究资料》第9集第二分册是中国金属学会负责编写的有色金属工业部份。这部份编写工作，得到中国有色金属工业总公司副董事长刘学新的重视和领导，并由中国金属学会常务理事孙倬、北京冶金机电学院副院长王殿儒等负责组织各有关单位和专业学术委员会完成的。参加研究的单位有：中国金属学会地质、采矿、选矿、重有色冶金、轻金属、稀有金属、有色金属材料与加工及半导体材料等8个专业学术委员会；中国有色金属工业总公司所属的七个设计研究院、七个研究院所、五个高等院校以及冶金工业部情报研究总所等单位。参加研究与编写的有教授、副教授、副研究员、高级工程师、讲师、工程师等高、中级科技人员。他们对本资料做出积极的贡献。

本书是《2000年的中国研究资料》有色金属工业部份第一阶段的研究成果。主要内容是概述我国有色金属工业现状与技术水平，国际先进水平及我们的差距。这些研究成果中，综合性课题有：地质勘探、矿产资源、采矿、选矿；分金属课题有：铝、镁、钛、铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、汞、镍、钴、金、银、铂族金属、稀有金属、稀散金属、稀土金属及半导体材料。共22篇。本资料由北京有色冶金设计研究总院曹异生、马荫华、中国金属学会唐续文负责编辑。

目 录

我国有色金属工业的现状和差距.....	(1)
有色金属矿山地质与勘查技术.....	(12)
有色金属矿产资源分析.....	(17)
国内外有色金属矿山开采技术.....	(22)
国内外有色金属选矿技术水平.....	(31)
发挥资源优势, 开创我国铝工业的新局面.....	(39)
国内外镁工业水平及差距.....	(48)
钛工业的国内外水平及差距.....	(53)
铜工业的现状与差距.....	(60)
我国铅锌工业的现状与发展前景.....	(66)
锡的现状与差距.....	(74)
国内外锑的生产和消费.....	(79)
镍冶金工业的现状与展望.....	(84)
钴冶金工业的现状和差距.....	(91)
汞工业的现状与前景.....	(97)
现代金银工业的新动向.....	(101)
迅速发展中的贵金属工业.....	(108)
我国钨工业的现状与展望.....	(113)
钼的产销状况.....	(119)
铌钽锆铪和轻稀有金属的现状与差距.....	(122)
稀散金属工业的地位及差距.....	(128)
稳步发展的稀土工业.....	(132)
半导体材料的差距.....	(137)

我国有色金属工业的现状和差距

一、概 况

有色金属工业是国民经济中重要的材料工业。目前具有工业价值的有色金属共有60多种。通常是指铁、锰、铬以外的金属元素，习惯上又常将它们分为有色重金属、轻金属、贵金属及稀有金属四类。其中，产量最大的是铜、铝、铅、锌四种，占有色金属总产量90%以上，通称常用金属。

建国以前，我国有色金属工业基础十分薄弱，产量水平很低，而且只能生产铜、铅、锌、锡、锑、汞、金、银等种产品。经过三十多年的建设，我国有色金属工业已有很大的发展，具备了一定的物质基础和技术基础。现有大、中、小企业近千个，遍布全国各省区。拥有相当可观的固定资产和综合生产能力，建立了从常用有色金属到稀有金属及合金加工材的品种比较齐全、工艺比较完善的生产体系。培养出一支约有一百多万人的产业队伍。地质、采矿、选矿、冶炼、加工、综合利用各个领域已掌握一套较成熟的生产技术，积累了丰富的实践经验。

目前我国有色金属总产量，仅次于美国（800万吨）、苏联（620万吨）、加拿大（260万吨）、日本（230万吨）和西德（180万吨），在世界上居第六位。我国有色金属工业的经济效益较好，积累为投资的1.6倍，在9个重工业部门中居第4位。出口创汇率高，全国外贸出口平均创汇率为2.53，而有色金属为1。（即换1美元只需1元人民币的有色金属产品。）

有色金属用途十分广泛，有广阔的国内外市场。既是国民经济、国防工业、科学技术发展的基础材料，又是人民生活必不可少的消费资料，如电力工业增加1万千瓦的装机容量约需铜、铝800吨；制造1万台拖拉机约需铜、铝600吨；制造1架喷气式战斗机需用铝、镁、钛约2吨；目前每年用于制造电池的锌达4~5万吨；制造牙膏皮的铝达6~7千吨。多年来轻工市场和电力工业消费有色金属，约占全国总消费量的一半左右。

特别是世界新的技术革命兴起以后，对有色金属更有特殊的需求。在稀有金属材料中，锆、铀是原子能发电站的重要材料；钛、钽、铌、钨、钼的合金是发展航天技术不可缺少的材料；锗应用于红外技术、光导纤维和激光技术；钽电容器是发展彩色电视重要原件；各种发光管（显示器）大多使用镓的化合物。随着新技术的发展，对于各种有色金属新型材料及合金的需求日益增多，对品种、纯度的要求也越来越高。

建国以来，我国有色金属的消费量增长很快。铜、铝、铅、锌四种常用有色金属消费量年平均增长速度为12.5%。但始终供不应求，自产部份只能满足国内市场需求量75%左右，还需进口约25%才能补上缺口。而且缺口还有不断扩大的趋势，进口数量越来越

多。今后随着能源、交通、轻工市场的发展，常用有色金属需求量还将有很大增长；有色金属又是生产各种合金钢的重要元素，国外合金钢的比重已占钢产量的12~16%，而我国目前仅占4%，这方面今后对有色金属也有很多需求；国外耗铝三大产业是建筑、运输和包装，而我国这些领域用铝还很少，今后必然会有很大的增长。从国际市场看，目前世界铜、铝、铅、锌产量的比重约为钢产量的5.3%。美国原料政策委员会预测，1990年全世界钢产量约13亿吨，四种常用有色金属产量将增加到7130万吨（其中铜1680万吨、铝3650万吨、铅600万吨、锌1200万吨）。按此推算，到本世纪末我国钢需求量如达到1亿吨，则需要四种常用有色金属500万吨以上，较目前产量翻两番还多。

1. **铜**：三十年来我国铜的消费量增长了十三倍，年递增率为10.2%。同期铜产量虽有增长，但不能满足消费的需要，进口铜数量占铜消费量的37%，共消耗外汇约30亿美元，比国家对铜工业的投资还多。

2. **铝**：建国初，铝用量全部依靠进口，1954年开始自产。1954~1965年间，铝产量年平均增长率达47%，同期消费量年平均增长率为33%，供求已近平衡。但1966~1980年间，产量年平均增长率为7.6%，消费量年平均增长率为9.7%，以致供需缺口不断扩大，也靠进口铝来补充不足部份。卅年来进口铝数量占铝消费量的32%，共消耗外汇约18亿美元，比国家对铝工业的投资还多。

3. **铅、锌**：铅、锌也有类似情况，进口量相对要少些。但近三年来，锌进口量却猛增。1983年锌的需求量比1977年增加65%，主要由于建筑业、镀锌板和干电池用锌量增多。如我国城乡普及半导体民用电产品，收音机社会零售量1978年为1390万台，1982年增至3630万台，五年内增加两倍多，干电池消耗量也相应增加，目前年消耗干电池30亿只，仅此一项就增加年耗锌量5万吨。但同期锌产量增长有限，不足部份也靠进口解决。

在有色金属中，钨、锡、钼、锑、汞是我国传统的出口产品。建国以来，这些产品出口创汇近70亿美元，对国民经济发展起到一定的作用。特别在1965年以前，钨、锡、钼、锑、汞累计出口换汇额占全国出口总额的11%，有色金属工业出口创汇大于进口用汇约14亿美元。但1966年以后，由于常用有色金属进口量增大，变为进口用汇大于出口创汇28亿美元。

这几种出口产品中，创汇最多的是钨精矿和钨制品，其次是锡，再次是锑、钼精矿和汞创汇比例较小。近几年来，钨精矿出口量基本稳定，没有大的起色。锡由于国内产量下降，出口量也相应减少。锑的出口也比较平稳，波动幅度不大。总的来看有色金属的出口创汇没有明显增加。

在国际钨市场上，我国钨精矿出口量居首位。正常年景，全世界钨精矿消费量约8万吨，其中耗钨大的苏联、美国及西欧自产两万多吨，国际市场上贸易量通常只有5万吨。前几年国际市场萧条，钨精矿一度滞销，最近经济稍有复苏，但起色不大。总的来看钨市场容量有限，不可能大量增加出口。近来我国注意钨制品出口，在市场上略有起色，但质量较低，缺乏竞争力。如硬质合金，我国某些单项产品赶上国外先进水平，但总的水平低于瑞典、美国的名牌产品，年出口量还不到50吨。

过去中国盛产锑品，出口量也居前列。近几年玻利维亚和南非的锑工业已有较大发展，金属锑产量已和我国大体相当，而出口量则超过我国。我国近几年出口量仅占国际

锑市场的15~20%，从1979年以来均没有新的突破。由于锑没有发现新的应用领域，国外锑的消费量是下降趋势，增加出口也很困难。

二、有色金属资源

我国有色金属资源十分丰富，品种也比较齐全。已探明十种常用有色金属储量几亿吨。

评价我国有色金属资源在世界上的地位，由于我国储量的标准和勘探的程度与国外存在着较大差别，因而只能作大体比较。如以我国探明储量与国外总资源量相比，则居世界首位的有钨、锑、钛、锂、稀土等矿产，位居世界前列的有铅、锌、锡、钼、汞、钴等。大体上我国钨的储量占世界总资源量约60%，锑的储量约占世界的30%，稀土氧化物的储量约占世界的90%，这些矿产资源具有明显优势。

近十几年来，我国还陆续探明一些特大型矿床，有的已着手开发利用，有的正准备开发利用，其中包括一个铜矿、两个铅锌矿、两个锡矿、两个钼矿、四个铝矿、一个镍矿和一个多金属矿。我国的有色金属矿床不少是多金属共生矿，能够综合利用。据统计，1980年依靠综合回收创造的经济价值，占有色金属工业净产值的13%。

我国有色金属资源虽然比较丰富，实际开发利用还存在不少问题。

首先，我国具有资源优势的钨、钼、锑、汞、稀土等矿产，由于应用领域没有新的突破，传统的需求量增长很慢，向国际市场增加出口较困难，这些矿种虽有资源优势，短期内难以大规模开发利用。

第二、铜、铅、锌等三种常用有色金属，虽然我国地质部门提交的储量也不少，但经过三十多年大规模的开采利用，那些交通方便、埋藏较浅、品位较富、易采易选的矿床，大多数都已开发利用了。如我国拥有大中型铜矿115个，已开发51个，尚未开发的64个中，多数位于偏僻、交通不便、经济落后的地方，资源开发受到外部条件限制很大。如西藏的玉龙及多霞松多铜矿、青海的玛沁德儿铜矿，由于外部建设条件太差，本世纪内都开发利用不了。还有些大型铜矿，原矿品位不高，或属于难选的氧化矿，多金属矿、或由于水文地质复杂，一时也不具备开采条件。铅锌矿也如此，已开发的仅占储量的37%，其余未开发的资源，多数也是由于建设条件不好，地理条件较差，影响了资源的开发利用，个别大型氧化铅锌矿，组成复杂，尚需研究新的选矿工艺。

第三、我国紧缺的一些矿产品，如锡、钴、金、银等，实际上可供利用的资源也有限。如锡矿，地质上提交的储量倒十分可观，可是经多年开采，好矿基本吃尽，现有资源多数都是多金属难选矿，埋藏较深，采选技术十分复杂；不少老矿由于品位较低，还与地方争执等影响，近期许多储量难以利用。金、银则更感资源短缺。我国钴资源数量虽多，但均属伴生矿，综合回收都比较困难。

第四、苏联在六十年代总结了五十年代地质工作效率低，不能利用的呆滞矿量多（约占40~60%）的教训以后，明确规定：普查阶段结束以后，要提交经济意见书，论证矿床能否转入初勘；初勘结束后，要提交技术经济报告，对矿床能否转入详勘作出经济评价。西方国家也规定：在普查阶段结束后，要进行初步可行性研究，确定矿床能否转入

详勘：当进入详勘阶段的中后期，还要进行详细的可行性研究，其内容与苏联技术经济评价相似。这是避免搞呆滞矿量，提高勘探经济效益，减少投资风险的一项重要措施，在国外已收到显著效果。

我国勘探工作五十年代照苏联办法搞，以后苏联改了，我们还是维持老一套，沿袭至今。在勘探过程中，对此又缺乏严格的要求。致使一部分在当前技术经济条件下尚难利用的矿产资源也参加了储量计算，因而变成了大量的呆滞矿量，这部份储量多达30~50%。我国至今还没有明文规定在普查和初勘结束以后，要提交机会研究和初步可行性研究报告，这样勘探工作的盲目性和资金积压与浪费还继续存在，呆滞矿量还会继续出现。

三、有色金属矿山

矿山是有色金属工业的基础。建国以来，矿山生产能力年平均增长率为15%左右，发展速度很快。建成县属以上的矿山400多座，形成年采掘剥能力约为1亿余吨，是我国一项大的采掘工业。有色矿山的开采方式原以地下开采为主，特别是钨、锑、汞、铅、锌等金属几乎全部是地下开采，铜、钼的地下开采量也在60%左右，近年来露天开采发展较快，其中铝、镍、锡等金属均以露天为主，而正在新建的骨干矿山则以露天开采居多，露天开采比重将逐步加大，预计到1990年露天开采比例占一半。

矿产资源是矿山生产对象，采一吨就少一吨，存在着矿山能力逐步消失问题。老矿山越往深部开采技术越困难，生产能力也逐年下降，这是矿山开采的客观规律。要弥补这些消失的能力，就需要不断建设新矿山。因此加快矿山建设速度，是开发有色金属工业的关键所在。要实现这个目的，就需要有高效的装备和先进的采矿工艺，以及科学管理，这些方面我们与国外比，还存在较大的差距。

国际上，地下开采技术发展趋势是朝着简便、易行、高效的方向发展。而我国地下开采水平大体落后十五年。国外地下采掘设备向液压化、凿岩大直径深孔化、无轨化、遥控化、组合化和连续化方向迅速发展。这方面我们差距更大。如七十年代发展起来的无轨自行设备的采矿技术，能够成倍地提高矿山的生产能力，已被世界各矿业国家广泛采用。1980年世界各国共拥有无轨采矿的主体设备铲运机2.5万台，并发展了相配套的各种辅助作业的无轨设备。据国外182个矿山的调查，采用无轨设备采矿的占48%。而我国目前仅有7座有色金属矿山采用无轨设备，只占全国地下采矿量的1.2%。又如国外自七十年代初研制成功液压凿岩机后，发展十分迅速，凿岩效率提高0.5~1.0倍，节能三分之二，而且易于实现自动化，现已有20多个厂家生产了五十多种类型的液压凿岩机2000多台，而我国目前基本上采用风动凿岩机，液压凿岩机处于研制的阶段。

国际上，露天矿山技术发展的主要趋向是生产规模继续向大型化发展，广泛采用大型高效的露天穿孔、装载、运输设备，注意提高设备的技术性能与可靠性，注意提高辅助作业的机械化水平。在穿孔技术上，国外牙轮钻机使用的比重约占60%左右，正朝着大孔径、大风量、提高回转速度和自动控制方向发展。而我国牙轮钻机才刚刚开始使用，多为引进的设备，使用比重约占8%。大量使用的是高风压潜孔钻机(约占40%)和

国外已基本淘汰了的钢绳冲击式钻机。在装运设备上,国外电铲斗容不断加大,从3.8~6.1立米增加到9.2~15.2立米,较大的有20~26立米者。运输汽车载重量从18~350吨,一般使用80~120吨,100吨以上的大都是电动轮汽车。而我国使用的电铲,斗容在1~8立米之间,多用2~4立米者,12立米电铲处于研制阶段。汽车最大载重量才32吨,一般用8~12吨,100吨的电动轮汽车正在研制中。

总之,矿山工作十分重要,但目前是发展有色金属工业的薄弱环节。存在着生产矿山后备资源不足,老矿进入深部开采,延深工程艰巨,新建矿山外部条件差,建设周期较长等,这些问题阻碍着矿山的较快发展。

我国有色金属工业除铝、镁外,其余均由于原矿品位低,需要选矿富集以后才能进行冶炼。目前提炼1吨铝仅需用4吨铝土矿,而提炼1吨其它有色金属,则需要处理几十吨,一百多吨甚至几百吨矿石。因此选矿是有色金属工业一个重要的环节。建国以来,我国已建成大中小型选矿厂近千座,日处理矿石能力20万吨以上。选矿方法以浮选、重选为主,也采用磁选、静电选、光电选、粒浮、混汞、氰化以及水冶等多种选矿方法,多金属选矿厂采用联合选矿流程,砂金矿还采用采金船。

七十年代以来,国际上由于矿物原料需求量增加,矿产资源日益贫化,复杂难选矿石增多,各国对有色金属选矿更加重视,选矿厂规模不断扩大,美国、苏联、加拿大和智利等国已拥有日处理几万吨矿石的大型选矿厂几十座,明显的趋势是采用新工艺、新药剂,大型高效设备和最佳化自动控制技术。

在我国有色金属选矿个别环节上,如钨锡细泥的重选设备和工艺,已具有国际先进水平。但总体来看,不论是工艺、装备、药剂、环保等方面,与国外比都有一定的差距,特别是通用的选矿设备,基本上仍然沿用五十年代的仿苏设备,没有很大改进,耐磨材料质量低,使得选矿设备性能差、效率不高。在氧化铜矿处理上,国外采用酸浸工艺已有明显进展,湿法炼铜占铜总产量20%左右,而美国占22%,居世界首位。我国处理氧化铜矿主要仍采用浮选法,但单一的浮选工艺难以提高选矿指标,因而今后如同国外采用选冶联合流程是处理难选氧化铜矿的发展趋向。我国有色金属矿产资源另一个特点是,多金属共生矿多。但我国多金属综合回收水平还较低,国外80%的银产自铅、锌、铜多金属矿,不少黄金副产于铜矿,美国21座铅锌选矿厂金和银的回收率都在80%以上,而我国最好的才达到50~60%。我国铜镍硫化矿含有金、银和铂族金属,目前回收量都少。但加拿大年产镍25万吨,可回收钴1500吨,铂族金属10~14吨,这方面我国差距也不小。

我国选矿药剂行业已建成五座生产常用药剂厂,还使用石油、轻工及农副产品生产研制一些药剂。目前已能生产的选矿药剂共69种,其中常用的药剂有34种。按用途可分为捕收剂38种、起泡剂7种、调整剂8种、絮凝剂4种和活化剂2种。世界上生产和使用选矿药剂比较先进的国家是美国、苏联和日本,它们的特点是品种多,单耗低。美国的选矿药剂180多种,其中常用的药剂为60种。我国起泡剂大多采用松油,原料供应比较紧张,而国外早就用合成的醇类起泡剂,有比较充足的来源,但在我国还没有很好推广。外国药剂单耗也低。以选铜为例,黄药消耗量,中国为240克/吨,苏联为90克/吨,美国则更低。

四、重 金 属

有色金属工业中,冶炼方法一般可分为火法冶金、湿法冶金及电冶金三大类。在有色重金属中,铜的冶炼以火法为主,火法生产的铜约占80%以上,其中反射炉熔炼占50%,闪速炉占18%。湿法冶金主要用于氧化铜矿、残矿和废矿石的浸出。七十年代以来,国外火法炼铜技术的发展趋势是大力发展闪速熔炼技术,同时用喷吹或喷撒技术改造现有的反射炉,取得一定的进展。在现代大型炼铜厂中,鼓风炉逐渐减少,但进行了许多强化鼓风炉熔炼的试验研究工作。苏联公布的鼓风炉富氧熔炼证明,使用富氧空气,不但大大发挥了鼓风炉独有的优点,而且提高了熔炼强度,烟气经过回收单体硫后,还可制取硫酸。可以预计用现代技术装备起来的鼓风炉,将发挥其巨大作用。七十年代出现了三菱连续炼铜法和诺兰达炼铜法,两种方法各有特点,但均未达到推广的程度。我国现有铜冶炼厂16座,基本上是沿袭传统的炼铜方法,大多是先经过火法熔炼,然后再进行电解精炼。过去建了一些小型湿法炼铜厂,但因能耗高,产率低,成本高,且金银难以回收,尾渣难以处理而关闭。我国各种炼铜法所占比例是:鼓风炉占36%,反射炉占18%,白银炼铜法占15%,电炉法占13%,闪速炉刚开始建设,形成了各种工艺并存的局面。我国炼铜工艺都是因地制宜采取的,如白银炼铜厂原设计采用电炉熔炼流程,由于白银的矿石含硫高,熔点低,继后改为更经济的反射炉熔炼,并采用沸腾焙烧炉进行半氧化焙烧,生产时,又因半氧化焙烧不好控制,改为将部分精矿进行全氧化焙烧。七十年代,为了解决反射炉烟气对环境的污染,研究成功白银冶炼法,将精矿直接入炉熔炼,现在又作进一步改进。又如云南地区铜精矿含氧化镁和氧化钙高,熔点高,因而云南冶炼厂采用电炉熔炼。总之,中国铜冶炼技术方面有自己的特点。主要由于受到资源条件限制,炼铜厂规模不大,机械化和自动化水平不高,这些方面与先进国家相比有明显的差距。

我国铜加工业建国以来有很大的发展,现有大、中、小铜加工厂一百余家,国产铜材广泛用于国防军工和国民经济各部门。但与先进国家相比,我国铜加工业品种少,规格不全。如美国1981年列入标准系列的铜合金牌号有420种,其中变形铜合金为304种,而我国列入标准的变形铜合金只有88种。国外生产0.2毫米铜箔,宽度可达1米;而我国只能生产0.8毫米铜箔,宽度也只能达到0.6米。另外质量低,我国铜材的组织性能不均,尺寸精度低,表面质量差,因而出口竞争能力不如其他国家。我国现有的大型铜加工厂,装备基本上是五十年代的水平,而中、小型铜加工厂差距更大。国外已向大型化、连续化、控制精确化方向发展。

铅的冶炼基本上都是火法。目前国内外都采用传统的烧结—鼓风炉炼铅方法,产量占80~90%,另外铅锌鼓风炉生产的铅约占10%。主要差别在于国外炼铅厂规模较大,装备大型烧结机、鼓风炉和烟化炉,机械化、连续化、自动化程度较高。

锌的冶炼方法(从硫化锌精矿提炼锌)有湿法和火法两大类。七十年代以来,国外各种炼锌方法产锌量的比例是:湿法炼锌74%,火法炼锌中的竖罐法5.6%,横罐法2.2%,鼓风炉法11.4%,电热法6.8%。近几年我国产锌的比例是:湿法炼锌48.5%,竖罐

法33%，横罐法4.5%，鼓风炉法14%，我国不用电热法。从上述对比可以看出，国内外湿法炼锌均占优势，但国内所占比例低于国外。竖罐法国外目前只有美国、日本和西德保留，但六十年代以后就没有再建新厂，而我国目前所占比例还相当大。横罐法由于污染严重，操作条件恶劣，在不少国家已被淘汰，我国也是逐步减少趋势。

镍的冶炼原料中，目前硫化镍所占比重较大，但氧化镍逐渐变成了炼镍的重要原料。陆地上70%以上的镍赋存于红土矿，七十年代以来，各国从红土矿中提取镍的技术进行了大量研究工作，新建了不少处理红土矿的冶炼厂。至于硫化镍矿的熔炼技术，目前主要是沸腾焙炉——电炉熔炼和闪速炉熔炼两种工艺，其中闪速炉应用不断扩大，国外已有五座炼镍闪速炉。这种炉子具有生产能力大，能耗较低，能够控制冰铜品位，硫的利用率高等优点。但渣含镍高，炉渣需经选矿或电炉熔炼进行渣贫化后方可达到弃渣标准。在有廉价电源的地区和处理难熔物料时，电炉是较为适合的设备。

七十年代以来，发展一些湿法处理高冰镍的精炼工艺，所用的熔剂有硫酸、盐酸和氯化物，浸出的方式有加压和常压，有一次浸出，也有三段浸出，即选择性浸出。在浸出液净化杂质过程中，有的采用溶剂萃取技术。但是这些方法多是据根各自原料的特点采用的，尚未形成适应性强的典型流程。我国采用回转窑焙烧——电炉熔炼——转炉吹炼——高冰镍磨浮——硫化镍阳极电解流程。由于回转窑焙烧不能回收硫，造成硫的利用率低，如果改用沸腾焙烧炉，则全流程硫的回收率可望达到80%左右，我们的流程与汤普逊流程相似，由于设备、控制技术和管理等原因，我们的技术经济指标较差。

五、轻 金 属

轻金属主要是铝和镁。我国习惯上还把钛也算为这一类。世界铝产量占有色金属总产量的42%，在有色金属中居首位，在金属材料中，仅次于钢，是第二大金属。战后世界铝的消耗量平均年增长8%，1980年世界原铝产量达到1600万吨。五十年代中期才开始起步的我国铝工业发展也很迅速；1955~1980年的平均年增产率约为11.5%，目前产量占世界第八位。

决定铝工业发展的重要因素有两个：一是矿源，一是能源。国外95%以上的氧化铝都是用铝土矿生产的，其中90%以上为三水铝石和5%以上为一水软铝石，这两类矿石从碱液中提取氧化铝都较为容易。而我国铝土矿恰好缺乏这两类矿石，几乎全是高铝、高硅、高铁的一水硬铝石，在生产氧化铝技术上要难得多。

氧化铝是自铝土矿生产金属铝的中间产品，国外氧化铝生产主要采用拜耳法，约占95%，其余是烧结法和联合法。建国以来，据我国资源特点，我国创造了生产氧化铝的独到技术，先后掌握了碱石灰烧结法和混联法的生产工艺。而且在碱石灰烧结法熟料的溶出、从循环母液中回收镓、应用烧结法赤泥生产水泥方面取得了创造性的成就，大大弥补了我国矿石质量差的缺点，氧化铝回收率达到90~92%，碱耗降到70~90公斤/吨（氧化铝），均赶上国际先进水平。但也要看到，我国氧化铝生产的工艺的复杂性，综合能耗高是不可避免的。我国每吨氧化铝的综合能耗：混联法为981万大卡，烧结法为1133万大卡。而美国的串联法只为622万大卡，苏联的烧结法只为795万大卡，均比我国

低得多。特别是我国采用拜耳法的贵州铝厂，综合能耗高达1167万大卡，大约比国外同类方法最好水平高出几倍。另外我国氧化铝厂装备比较落后，大体上是国外五十年代的水平。

铝电解是耗电大户，国外在两次石油危机和西方工业国家的经济衰退中，均受到强烈冲击。近几年原铝产量有所下降，由1980年1600万吨下降到1982年1400万吨，最近又开始回升。

我国铝的产量远远落后于美国、苏联、加拿大、西德等国，并且不能满足国内的需要。我国铝工业生产技术水平同国外也有很大差距。世界的铝电解工艺正朝着电解槽的大型化和预焙化的方向发展。电解槽的大型化，有节省人力，降低消耗的优点，并且容易实行机械化和自动化，容易采取保护环境的措施。我国铝电解槽容量多数为60~80千安的旁插自焙槽，基本上是五十年代初期的水平，多年来虽经不断改进，某些指标得到改善，但电耗仍在15000度左右，烟害大，污染严重，劳动条件差。上插槽能耗更高，阳极技术及操作机构不够完善。

我国铝加工工业与国外比也存在明显的差距。近廿年来，随着铝用途的日益广泛，国外铝加工材品种不断增加。目前仅变形铝合金的牌号，美国有170种，苏联有100种。特宽、特厚、特薄的板材，大型变断面板，焊接管等的品种多而全。加工材的质量好，精度高。而国内产品品种较少，铝合金的牌号只有67种，各种板、管材品种不全。特宽、特厚、特薄板尚不能生产。产品质量和精度与国外有很大差距。国外加工工艺先进，熔铸工艺普遍采用过滤净化处理的新技术，提高熔铸的纯洁度；挤压工艺普遍采用反挤压、连续挤压、冷挤压和等温挤压工艺，用电子计算机程序控制；采用大型、高速、连续、自动、精确控制和节能为特征的先进装备。而国内技术装备，熔炼反射炉的容量还不到国外的三分之一，热效率不到国外的一半，熔炼的净化处理仍然采用老办法，热轧机速度为国外的40~60%，冷轧机的速度也只有国外的三分之一，手工操作，靠经验控制。

镁的产量虽只为铝的百分之几，但应用领域不断扩大，镁的消耗量也不断增加。国际上现有镁厂17家，总产量近40万吨，其中用电解法生产的占80%，半连续硅热法占10%，皮江法占10%。我国镁长期供不应求，靠进口来平衡。另外我国镁生产技术装备水平较落后，仍为五十年代初期的水平，一直采用菱镁矿氯化电解工艺；近代国外先进的卤水脱水电解和半连续硅热法炼镁技术，国内还没有掌握；电耗低、污染少的无隔板电解槽，国外镁厂已普遍采用，国内还处于试验阶段，与国外相比差距甚大。

我国的钛矿资源极其丰富，原生矿及砂矿兼备。但我国海绵钛生产能力不大，目前消费水平很低，产大于销。美国和西欧钛的主要用户是航空工业，我国这方面的用量较小。1979年我国海绵钛首次出口到美国，经各用户的分析、检验和使用，对我国海绵钛质量表示满意。1980年前后，乘国际市场空前供不应求之际，我国出口2000多吨海绵钛，维持了两年左右的兴旺。但如今，各企业仍陷于困境之中。尽管我国钛工业取得很大成绩，而与国外相比，还存在不少差距。主要有生产规模小，不利于钛成本的降低；国外钛厂设备朝着大型化，连续化和自动化方向发展，而我国钛加工厂设备陈旧，规格小，因而造成原材料和能耗高，生产成本高等弊病。另外我国钛冶炼在三废治理和综合

利用方面还有不少问题。

铝、镁、钛工业都是耗能高的工业，这些工业与能源工业发展有着密切关系。目前我国虽然能源短缺，但发展的前景是广阔的。从已探明的常规能源的蕴藏量来看，水力资源占世界首位，煤炭占世界第三位。因此，从矿石资源和能源来看，我国确实具有较为优越的条件，可以促进我国铝、镁、钛工业较快发展。

六、贵 金 属

贵金属主要有金、银、铂族（铂、钯、铑、钌、铱、锇）共8个元素。世界黄金资源约有6万吨，其中20%为伴生资源。我国黄金资源居世界第五位。目前世界上有30多个国家生产黄金，近年来黄金产量为1200吨，其中副产黄金120吨，我国黄金产量居世界第六位。我国黄金资源以脉金为主，约占85%，均为地下开采，并以中山型为主。另外我国目前尚无单一银矿，银的主要来源是从铜、铅、锌矿中回收。在铜、铅精矿中的银较易回收。锌渣是一种含银量相当可观的资源，不少单位开展了对锌渣的研究工作。

与国外相比，我国黄金工业最大问题是，地质勘探工作做得不够，后备资源不足，目前探明资源分散，缺乏大矿富矿，黄金矿山规模小。急需加强地质勘探工作来补充后备资源。由于规模小，技术装备落后，群众采金就更为落后。如在采矿方法上，目前留矿法在黄金矿山开采中还占43%，而在国外已濒于淘汰；国外较为普遍采用的机械化分层充填法，我国黄金矿山尚未正式采用；新型采矿方法尚未开展试验。

在国外，相当重视回收有色金属矿中伴生的金、银。据统计目前产金有10%来自伴生金。伴生金在有些国家占重要地位，巴布亚新几内亚的金几乎都来自伴生金，菲律宾占62%，澳大利亚占59%，美国占40%，苏联占25%，根据我国地质储量计算，有色金属伴生金占46%，在50座铜矿中都含有不同品位的金、银。这部份资源的综合回收尚未引起足够重视。

铂族元素因比金、银更少，故称为稀有贵金属。它们在当代发展最快的电子、信息、新能源、医学、军事及尖端科学中，更是关键材料之一。世界铂族金属储量约有3.7万吨，主要集中在南非（71.4%）和苏联（14.3%）。铂族金属产量的98%来自铜镍共生矿，年产量200多吨。

我国铂族金属是新兴工业，90%铂族金属也与硫化铜镍矿共生，储量居世界第六位。近几年铂族金属产量增加3倍多，但仍不能满足国民经济发展的需要，多年靠进口，（进口量比例占到85%）。如按目前美国和日本的消费水平估算，到2000年我国消耗量要增加4倍，再加上必要的战略储备，用量还要增多，缺口会越来越大。

七、稀 有 金 属

稀有金属种类繁多，在有色金属元素中，有70%属于稀有金属，其中有轻稀有金属（铍、锂、铷、铯）；高熔点稀有金属（钨、钼、钒、铌、钽、钛、锆、铪）；稀土金

属(钪、钇及镧系14个元素)；稀散金属(镓、铟、铊、锗、铍、硒、碲)；稀贵金属(金、银、铂、钯、铑、钐、铕、)；稀有放射性金属(钷、钷、钷、钷、和镧系元素中的铷、铯、钷、钷)和半导体元素(硅、锗、磷及其化合物)。

稀有金属及其合金和化合物具有一系列优良的物理的、化学的和机械的特殊性能，如钨、钼、钽、铌具有熔点高、强度大、耐腐蚀的性能；铍、锆、铪等具有反射、减速或吸收中子的特性；周期表上最轻的金属锂是最优良的高能燃料，它燃烧温度高、速度大、火焰宽；稀土金属具有萤光性、透光性、热电性、储氢性、永磁性；稀散金属和硅等具有半导体性，激光发射性、辐射屏蔽等性质。稀有金属既是优良的结构材料，能满足飞机、火箭、导弹、兵器、潜艇、海洋工程、特殊化工、原子能发电等要求的超高强度和刚度、超高温、超高压、超高真空、抗腐蚀等要求的材料，又是特殊的功能材料，是声、光、电、热的转换、半导体、光导、介电、压电、热敏、强磁、超导、绝缘、传感、激光发光、光纤、太阳能电池等方面的重要材料。稀有金属以产品品种多、规格复杂为特点，用途极其广泛，领域十分宽阔，现已在原子能、微电子技术、航天、航空、激光、信息、海洋开发、能源、交通运输、钢铁、石油化工、建筑、玻璃陶瓷、纺织化纤、轻工、医药卫生以及农业等方面获得了广泛应用，成为现代科学技术、国防和国民经济的重要基础材料和战略物资。经济和科学技术发展的经验表明，重大技术革新往往是由新材料突破的，从一定意义上讲，二次世界大战后发展起来的现代科学技术与稀有金属材料发展有密切关系。没有数量足够、品种齐全、质量合格的稀有金属产品，就难以实现国家的现代化。现代科学技术不仅对稀有金属提出迫切要求，也提供了发展稀有金属工业的先进工艺、设备和基础理论，如电子轰击、等离子技术、高真空、高温、高压技术、离子交换、萃取分离等。稀有金属在新的工业革命的材料科学中，将占有特殊地位，前景无量。

国外稀有金属工业主要是第二次世界大战后逐步建立和发展起来的。二次世界大战和后来的美国侵朝战争推动了稀有金属的发展，使稀有金属从实验室走向工业化。开始时它们是和军事工业紧密相连的，80~90%的稀有金属服务于军事目的。自50年代末以来，随着电子工业、钢铁工业、能源、交通运输和化学工业的发展，稀有金属迅速扩大到民用领域，特别是六十、七十年代的二十年中，稀有金属的生产量和消费量成倍增长，如美国海绵锆产量，1949年为1.5吨，1959年达到1350吨，1978年为3500吨。1950年世界所产的300吨铌，几乎全为美国工业所消费。1981年世界铌消费量达到13000吨，即30年中增长了近30倍，而85%为钢铁工业所消费。到八十年代，西方和苏联的稀有金属工业都达到了空前的水平。

我国稀有金属资源丰富，品种比较齐全，有些品种得天独厚，有显著的优势，如稀土储量居世界首位、镓储量占世界总储量56%。其他钼、钒、铀、铍、铌、钽等均居世界前列。解放前我国没有真正的稀有金属工业。解放后在学习外国经验的基础上，依靠自己的科学技术力量，独立自主地建起自己的稀有金属工业。我国在50年代末掌握稀有金属提取冶金方法的基础上，于六十年代实现了工业生产。二十多年来，对冶炼工艺的推广应用进行了大量研究工作，现已掌握了稀有金属从地质、采矿、选矿、冶炼、加工、检测、防护等一整套工艺和技术，为我国原子能、氢弹、卫星、潜艇、航空、电子工业等方面

提供了大量材料。近十几年来又在冶金工业、石油化学工业、轻工、农业等领域得到了较广泛的应用。目前我国已建立起具有相当水平的稀有金属工业体系，主要稀有金属产品可以自给，并有少量出口，为进一步发展奠定了良好的物质与技术基础。但应该看到，我国的稀有金属工业与国外先进水平相比还有很大的差距，如生产规模小，工艺设备落后，金属实收率低，品种不全，质量差，价格偏高，应用面窄等，需要迎头赶上。

执笔人：北京有色冶金设计研究总院 曹异生

参加人：中国金属学会 唐续文

有色金属地质矿产研究所 钱抗生

北京有色金属研究总院 郭青蔚

北京有色冶金设计研究总院 马荫华

有色金属矿产地质与勘查技术

一、国外有色金属矿产地质与勘查技术的形势

鉴于矿产资源在国民经济中的重大意义，特别是面临争夺资源的严峻形势，世界各国对于矿产资源的近期、中期和长期的稳定供应极其关注，除根据资源形势制定一系列相应的政策外，还在资源勘查上做出了巨大的努力，取得了显著的进展。

(一) 国外有色金属矿产勘查的主要成就和特点

近二、三十年来国外发现了数以千计的新矿床。其主要成就和某些特点如下：

1. 开辟新区，扩大老区：许多国家在新的地区发现了大型矿床，如澳大利亚昆士兰州和北部地区的铝土矿、南澳奥林匹克坝（Olympic Dam）铜铀金矿床，巴西特龙贝塔斯（Trombetas）铝土矿，美国阿拉斯加石英山（Quartz Hill）钼矿床等。同时许多地质工作程度高的国家和地区相继取得重大突破，如伊比利亚半岛块状硫化物多金属矿床储量剧增，爱尔兰发现纳凡（Navan）铅锌矿床，奥地利找到了白钨矿床，日本北鹿地区黑矿不断有所发现。此外，已知矿带和老矿山的外围发现许多大矿床，如苏联鲁德内依阿尔泰多金属矿区，美国亚利桑那州斑岩铜矿带、密苏里铅锌矿区以及澳大利亚耶尔冈地块老金矿区等都先后取得一些重大突破。以上说明，除积极开展新区找矿外，同时还应努力扩大已知矿带和老矿山地区资源。

2. 由浅部逐渐转入深部找矿：随着成矿理论和综合找矿方法的深入研究和应用，越来越多地发现地表难以识别的矿床、掩埋矿床或盲矿床，如美国新密苏里铅锌矿床（埋深330米）、卡拉马祖（Kalamazoo）斑岩铜矿（埋深600米）、亨德逊（Henderson）斑岩钼矿（埋深900~1000米）、澳大利亚奥林匹克坝铜铀金矿床（埋深300米）、匈牙利雷克斯克（Recsk）斑岩铜矿（埋深500米）等。以上说明国外勘查界在成矿认识能力以及现代综合勘查方法的发展和运用方面已达到了新的高度。

3. 前寒武纪和新生代找矿前景可观：尽管大型金属矿床成矿时代贯穿整个地质发展史，但近二、三十年发现的某些大型矿床都属于前寒武纪，特别是元古代。新生代成矿作用尤其明显地表现在环太平洋区域，许多斑岩型、块状硫化物型矿床与此有关。新生代风化作用或红土化还导致许多意义重大的铝土矿和红土镍矿床的形成。

4. 注意产有大矿的矿床类型：实践表明，矿产储量增长主要靠几种产有大矿床的矿床类型。国外大都着眼于产有大矿床类型的深入研究，以求矿产勘查上的突破。下面仅介绍突破较大的某些矿种。

(1) 铜矿：国外铜储量迅速增长，主要靠斑岩型，沉积—火山岩块状硫化物型和层状砂页岩型铜矿床。

(2) 铝土矿：导致世界铝土矿储量增长的类型仍然是红土型铝土矿。

(3) 铅锌矿：主要为碳酸盐或页岩层控型铅锌矿床以及火山成因的黄铁矿型铅锌矿床。

(4) 钼矿：绝大多数属斑岩型钼矿床、铜钼矿床和钨钼矿床。

(5) 锡矿：多为滨外砂矿或斑岩锡矿。

(6) 镍矿：主要为红土型以及与镁铁质—超镁铁质杂岩体有关的硫化铜镍矿床。

(7) 金矿：类型较多，值得注意的是发现一些新类型，如卡林型金矿、斑岩型金矿以及大型富金氧化帽。

(二) 地质科学的基础理论与成矿理论的发展

地质科学的基础理论是产生各种成矿理论的基础。六十年代轰动全球地学界的板块构造说，吸引着各国学者对各类板块边缘和各种地动力环境的成矿机理作深入研究，特别是海洋地质和深部地质的考察和探测给矿产勘查开辟了新的领域。此外，浊流沉积和等深线沉积理论，花岗岩多成因理论，前寒武纪理论，地层学中以界线层型剖面作为划分地层层位理论等等，正冲击着传统概念，这预示着地质勘查工作正走向大变革的新时期。

随着地质工作的深入，实践使成矿理论进一步发展和完善，对于矿产勘查有着重大的指导意义，由于理论认识上的飞跃常常带来矿产勘查上的突破。最近二十多年来成矿理论研究的发展，首先表现在思维方法和工作方法上的变化。现代成矿理论研究已在丰富的资料的基础上，着手进行辨证的综合，跨越了述描性的资料积累阶段。正是由于综合地研究了岩石与矿石，内生、外生和变质成矿作用，矿床的发生、演化和消亡，单个矿床与矿床系列，特别是矿床在全球范围内(空间)、整个地质史(时间)上的分布，才涌现出了一些较为完整的理论，为板块构造控矿、层控成矿、火山成矿、上升洋流成矿、热卤水成矿、萨布哈成矿、生物礁成矿和亲花岗岩类成矿等成矿理论，从而促进了矿产勘查工作。

在西方的勘查活动中，注重成矿模式的研究和建立。成矿模式是对成矿环境、成矿机制、矿体在空间、时间和组分上的分布规律和控制因素的辨证综合，从而为正确选区和合理使用勘查方法提供了根据和指南。由于成矿模式常以全球范围内大量已知矿床的深入研究为科学依据，因而在实践中具有普遍意义。有人认为二十年来矿床学的主要成果表现在提出四个成矿模式，即斑岩型矿床模式、密西西比河谷型矿床模式、沉积型铜矿床萨布哈模式、块状硫化物矿床火山型模式。成矿系列则提得更多，如蛇绿岩套的“三位一体”成矿系列等。运用上述成矿规律在中南美、中东、菲律宾等地发现了许多大型有色金属矿床。

苏联很重视旨在指出找矿远景方向的专门性成矿预测。早在四十年代苏联就有组织地开展了矿产预测的理论基础和预测方法的研究，现已完成全国重要矿产小比例尺图预测和局部大比例尺图预测。

(三) 勘查技术的发展

发展勘查技术是国外矿产勘查界提高找矿效果和矿床发现率的重要途径。近二十年来勘查技术的不断完善和发展，提高了人们对地质环境、成矿作用的认识能力和对深部地